

# ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОННО-ПУЧКОВОЙ ОБРАБОТКИ НА СТРУКТУРНО-ФАЗОВОЕ СОСТОЯНИЕ ПОВЕРХНОСТИ СТАЛИ 08X18H10T

*Горбунов С.В., Воробьев С.В., Коновалов С.В., Иванов Ю.Ф.*

*Руководитель – проф., д.ф.-м.н. Громов В.Е.*

ГОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет»,  
г. Новокузнецк  
gromov@physics.sibsiu.ru

В настоящее время наблюдается все возрастающий интерес к композиционным материалам и металлам с градиентной структурой, обладающих новыми, ранее недоступными свойствами. Они формируются в условиях различного типа дифференцированных обработок, когда внешнее энергетическое воздействие не распределяется равномерно по объему заготовки, а локализуется на поверхности. Низкоэнергетические импульсные высокоточные электронные пучки, обеспечивающие регулируемую в широком диапазоне плотность энергии на поверхности облучаемого материала являются в настоящее время одним из высокоэффективных методов формирования в металлах и сплавах градиентного структурно-фазового состояния. В этой связи целью работы являлось исследование физической природы структуры, формирующейся в поверхностном слое нержавеющей стали, обработанной высокоинтенсивным электронным пучком.

В качестве материала исследования использовали сталь 08X18H10T после закалки в воде от 1000 °С. Режим электронно-пучковой обработки (ЭПО): энергия электронов  $U = 18$  кэВ; длительность импульса воздействия пучка электронов  $\tau = 50$  мкс; количество импульсов воздействия  $N = 3$ ; частота следования импульсов  $f = 0,3$  с<sup>-1</sup>; плотность энергии пучка электронов  $E_s = 25$  Дж/см<sup>2</sup>. Выбранный режим ЭПО соответствовал плавлению поверхностного слоя толщиной 3...5 мкм. Для выявления градиентного характера структуры стали исследовали состояние фольг, расположенных на расстоянии 10 и 80 мкм от поверхности ЭПО, и фольг, полученных из слоя, прилегающего к поверхности обработки.

ЭПО стали 08X18H10T приводит к формированию в поверхностном слое толщиной до 5 мкм структуры дендритной (ячеистой) кристаллизации. Ячейки кристаллизации имеют равноосную форму, средние размеры ячеек  $D = 320$  нм. Вдоль границ дендритов выявлены частицы второй фазы, а именно, частицы карбида титана состава TiC и частицы соединения Cr<sub>15</sub>Fe<sub>9</sub>. Частицы имеют округлую форму, средние размеры частиц 18,5 нм. В объеме ячеек кристаллизации выявляются дислокации, распределенные хаотически. Скалярная плотность дислокаций  $3,6 \cdot 10^{10}$  см<sup>-2</sup>. Микродвойники в ячейках кристаллизации не выявлены.

Слой со структурой дендритной кристаллизации переходит в объем материала с поликристаллической структурой. Средний размер зерен, выявленных путем травления поверхности облучения,  $D = 9,4$  мкм, что меньше размеров исходного состояния. В объеме зерен выявляются микродвойники деформационного происхождения и дислокационная субструктура в виде хаоса и сеток.

Микродвойникование стали, как правило, приводит к формированию в разделяющих микродвойники объемах разориентированных областей. Средние размеры «фрагментов» с увеличением расстояния от поверхности облучения изменяются немонотонным образом, достигая минимального значения в слое, расположенном на глубине  $\sim 10$  мкм.

ЭПО приводит к формированию в поверхностном слое термических полей напряжений, искажающих кристаллическую решетку материала. Изготовление тонких фольг, являющихся объектом электронно-микроскопических исследований, сопровождается короблением тонких участков фольги под действием остаточных термических напряжений. Возникающий при этом изгиб-кручение кристаллической решетки материала на электронно-микроскопических изображениях структуры тонкой фольги проявляется в виде изгибных экстинкционных контуров. Установлено, что изгибные экстинкционные контуры начинаются и заканчиваются у границ зерен и микродвойников, частиц карбидной фазы. Следовательно, источниками напряжений являются внутрифазные границы раздела (границы раздела микродвойников и зерен) и межфазные границы раздела (границы раздела матрица / карбидная частица).

ЭПО стали при плотности энергии пучка электронов  $25 \text{ Дж/см}^2$  сопровождается растворением частиц первичной карбидной фазы. Соответственно этому, по мере приближения к поверхности облучения средние размеры и плотность частиц снижается.

Таким образом, ЭПО в режиме плавления поверхности образца сопровождается существенным изменением структурно-фазового состояния приповерхностного слоя материала, заключающемся: в формировании в поверхностном слое структуры дендритной кристаллизации субмикронного диапазона размеров, обусловленной сверхвысокими скоростями кристаллизации расплавленного слоя; в протекании в подповерхностном слое процесса динамической рекристаллизации, инициированного сверхвысокими скоростями нагрева и охлаждения, реализующимися при электронно-пучковой обработке материала, приводящего к существенному уменьшению (в  $\sim 2$  раза) среднего размера зерна; в полном растворении частиц исходной карбидной фазы и выделении наноразмерных частиц вторых фаз.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009-2013 г.г.» (гос. контракт №02.740.11.0538).